

## 宇宙線を考慮した相対論的衝撃波におけるシンクロトロン加速について

# 加藤 藍 [1]; 星野 真弘 [2]  
[1] 東大・理・地惑; [2] 東大・理

## Synchrotron Acceleration in Relativistic Magnetosonic Shocks with Pre-existing Cosmic Rays

# Ai Kato[1]; Masahiro Hoshino[2]  
[1] EPS, Science, Univ. of Tokyo; [2] University of Tokyo

The acceleration of relativistic particles in astrophysical sources of synchrotron emission is one of long-lived unsolved problems. Most of those non-thermal astrophysical sources have relativistic shock structures. So collision-less shock waves in relativistic flow have been implicated to energize particles.

Non-relativistic shock structures in the universe such as heliosphere, magnetosphere, SNR, and so on, sometimes give a hint to know the shock structures from observations. However, the particle acceleration processes in collision-less shocks have not fully understood yet. The problems are not simply addressed by the macroscopic view point of MHD framework, and we need to approach these questions by microscopic view point.

In order to study these unresolved issues of collision-less shocks, particle-in-cell (PIC) simulation have been recently used as a useful tool to investigate the microscopic acceleration mechanisms. For example, Hoshino et al.(1992) and Amato and Arons (2006) have studied the structure of relativistic perpendicular shock wave in electron-positron-ion plasma by PIC simulation, and concluded that the pair plasmas can be efficiently accelerated.

Although this kind of simulation study is powerful to understand the kinetic shock structures by collective plasma processes, the current simulations can only address a small scale and early time evolution of collision-less shocks. The shock structure and particle acceleration for a large scale and long time evolution in astrophysical settings may differ from what we have studied in PIC simulation so far. A well developed shock may contain a lot of relativistic non-thermal particles and cosmic rays, whose energy density is not necessarily negligible against the thermal plasma.

In this presentation, we extend the simulation study by Amato and Arons, and study the effect of pre-existing cosmic rays on the pair plasma acceleration by using 1D PIC simulation. Namely, we include very hotter electrons, positrons and ions into the upstream relativistic flow than those studied by Amato and Arons. And we discuss whether these effects change downstream non-thermal particle spectra for  $\sigma_e=2$  plasma.

Furthermore, for  $\sigma_e=0.1$  plasma, both synchrotron maser instability and also shock surfing acceleration in neutral sheet play an important role on high energy particle acceleration. So, we investigate the behavior of 2 mechanisms and particle acceleration. In our presentation, we will mention about 2D PIC simulation results as well.

シンクロトロン放射の観測から、宇宙の高エネルギー天体における相対論的粒子の存在が明らかになっているが、その粒子の加速メカニズムは未だに分かっていない。このような高エネルギー天体には、相対論的衝撃波が存在しているため、無衝突衝撃波が粒子加速に寄与していると考えられている。

太陽圏や磁気圏や SNR の非相対論的衝撃波の観測からは、衝撃波構造についての情報がいくつか得られている。しかし、無衝突衝撃波の粒子加速については、あまりよく分かっていないというのが現状である。粒子加速は、MHD のマクロな視点では解明できないため、ミクロな粒子加速メカニズムを追うために用いられている研究手法は、PIC シミュレーションである。

Hoshino et al(1992) や Amato and Arons(2006) においても、電子・陽電子・イオンプラズマの中での相対論的衝撃波は PIC シミュレーションで研究されており、電子・陽電子プラズマが衝撃波において効率よく加速され、陽電子は冪乗スペクトルとなることがわかっている。しかしこのようなシミュレーション研究は、プラズマプロセスにおける kinetic な衝撃波の描像を理解するのに適しているが、空間的にも時間的にもとても小さなスケールであり、衝撃波の初期の発達を見ることしかできない。一方で充分時間の経った後の衝撃波では、相対論的な非熱的粒子や宇宙線が混在しているはずであり、そのエネルギー密度は無視できない大きさになると考えられる。

今回の発表では、充分時間の経った後の衝撃波を想定し、Amato and Arons の場合よりも熱い電子・陽電子・イオンを宇宙線として上流に混ぜた場合の長時間計算を紹介する。宇宙線の個数密度や温度をパラメータとし、衝撃波の様子や、サイクロトロン不安定の変化を調べることによる、衝撃波形成から充分時間の経った後の粒子加速における宇宙線の効果を議論した。 $\sigma_e=2$  とした。

また、 $\sigma_e=0.1$  のプラズマでは、synchrotron maser 不安定での加速の他にも、neutral sheet での surfing 加速が重要となってくる。そこで  $\sigma_e=0.1$  の場合の電子・陽電子・イオンプラズマにおける粒子加速の様子を 1 次元 PIC シミュレーションで検証するとともに、2 次元 PIC シミュレーションの結果についても触れる予定である。